

PAT-NO: JP02003315253A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2003315253 A

TITLE: DURABILITY TESTING METHOD OF
COATING MEMBER AND TEST
DEVICE THEREFOR

PUBN-DATE: November 6, 2003

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
KAMEDA, TSUNEJI	N/A
KUBO, TAKAHIRO	N/A
HINO, TAKEHISA	N/A
ITO, YOSHIYASU	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
TOSHIBA CORP	N/A

APPL-NO: JP2002126350

APPL-DATE: April 26, 2002

INT-CL (IPC): G01N017/00, G01N003/00 ,
G01N003/18 , G01N003/30

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a durability testing method of coating member and a test device therefor that enable the sufficient simulation of the test condition of a coating member against the working condition of an actual machine, the investigation for more detailed damage mechanism of the coating member, and more accurate life evaluation.

SOLUTION: The durability **testing method of coating** member is characterized by forming a **temperature gradient simulating the temperature gradient to be formed by the temperature** condition on the operation of an actual machine of the coating member, in the radial direction of the section of the test piece 4, by heating the outside of a **test piece 4 of the coating** member forming a coating layer on the surface of a metallic base material with a hollow

cylinder-shape, and also cooling the inside by circulating a coolant into a hollow thereof, and **measuring the characteristics of the coating** layer in this condition.

COPYRIGHT: (C)2004,JPO

(11)特許出願公開番号

特開2003-315253

(P2003-315253A)

(43)公開日 平成15年11月6日(2003.11.6)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	データベース*(参考)
G 0 1 N 17/00		G 0 1 N 17/00	2 G 0 5 0
3/00		3/00	P 2 G 0 6 1
3/18		3/18	
3/30		3/30	S

審査請求 未請求 請求項の数 9 OL (全 9 頁)

(21)出願番号 特願2002-126350(P2002-126350)

(22) 出願日 平成14年4月26日(2002.4.26)

(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願 (平成11年度新エネルギー・産業技術総合開発機構「シナジーセラミックスの研究開発」委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受けるもの)

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72)発明者 亀田 常治

神奈川県横浜市鶴見区末広町二丁目4番地

株式会社東芝京浜事業所内

(72) 発明者 久保 貴博

神奈川県横浜市鶴見区末広町二丁目4番地

株式会社東芝京浜事業所内

(74) 代理人 100078765

弁理士 波多野 久 (外1名)

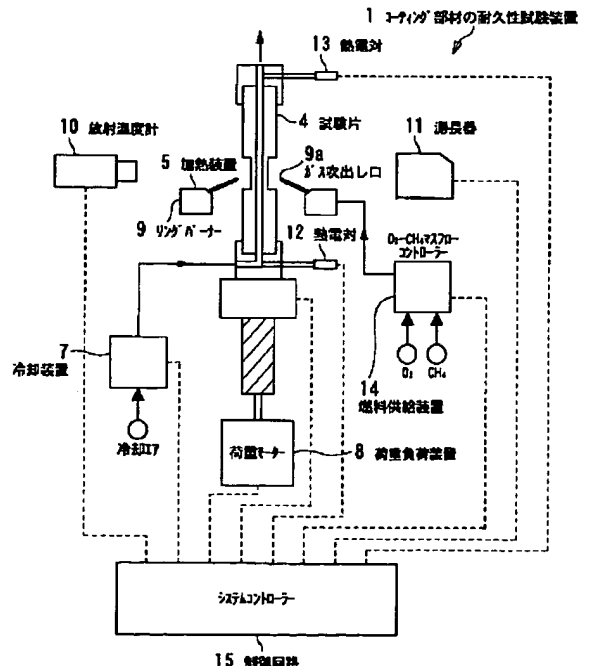
[最終頁に続く](#)

(54)【発明の名称】 コーティング部材の耐久性試験方法および試験装置

(57) 【要約】

【課題】コーティング部材の試験条件を実機使用条件に十分に模擬することが可能であり、コーティング部材のより詳細な損傷メカニズムの解明と、より高精度な寿命評価とを可能にするコーティング部材の試験方法および試験装置を提供する。

【解決手段】中空筒状の金属基材の表面にコーティング層を形成したコーティング部材である試験片4の外側面を加熱する一方、中空部に冷却媒体を流通せしめて内側面を冷却することにより、コーティング部材の実機運転時の温度条件によって形成される温度勾配を模擬した温度勾配を試験片断面の半径方向に形成し、この状態でコーティング層の特性を計測することを特徴とするコーティング部材の耐久性試験方法である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 中空筒状の金属基材の表面にコーティング層を形成したコーティング部材である試験片の外面側を加熱する一方、中空部に冷却媒体を流通せしめて内面側を冷却することにより、コーティング部材の実機運転時の温度条件によって形成される温度勾配を模擬した温度勾配を試験片断面の半径方向に形成し、この状態でコーティング層の特性を計測することを特徴とするコーティング部材の耐久性試験方法。

【請求項2】 請求項1記載のコーティング部材の耐久性試験方法において、前記試験片の外表面に耐食コーティング層、遮熱コーティング層および耐摩耗コーティング層の少なくとも1種を形成する一方、内表面には耐食コーティング層を形成することを特徴とするコーティング部材の耐久性試験方法。

【請求項3】 請求項1記載のコーティング部材の耐久性試験方法において、前記試験片の軸方向に圧縮荷重または引張荷重を付与し、この荷重は機械式荷重負荷機構、油圧式荷重負荷機構および変位拘束機構の少なくとも1種により付与することを特徴とするコーティング部材の耐久性試験方法。

【請求項4】 請求項1記載のコーティング部材の耐久性試験方法において、前記加熱方法が誘導加熱法、電気ヒーター加熱法、ランプ集光加熱法、レーザー加熱法、バーナー燃焼加熱法、プラズマ加熱法のいずれか1種または2種以上の組み合わせであることを特徴とするコーティング部材の耐久性試験方法。

【請求項5】 請求項1記載のコーティング部材の耐久性試験方法において、前記冷却用の冷却媒体として常圧または加圧した空気、水蒸気、水および液体ナトリウムのいずれかを使用することを特徴とするコーティング部材の耐久性試験方法。

【請求項6】 請求項1記載のコーティング部材の耐久性試験方法において、前記試験片の外周表面に冷却ガスを吹き付けることにより冷熱衝撃を付与することを特徴とするコーティング部材の耐久性試験方法。

【請求項7】 請求項1記載のコーティング部材の耐久性試験方法において、試験時に試験片外周の雰囲気、コーティング部材の実機運転時の雰囲気条件に模擬するように制御することを特徴とするコーティング部材の耐久性試験方法。

【請求項8】 請求項4～7のいずれかに記載のコーティング部材の耐久性試験方法において、前記試験片に加熱負荷および応力負荷を繰り返し付与することを特徴とするコーティング部材の耐久性試験方法。

【請求項9】 中空筒状の金属基材の表面にコーティング層を形成したコーティング部材の試験片の外面側を加熱する加熱装置と、中空筒状の金属基材の中空部に冷却媒体を流通せしめて内面側を冷却する冷却装置と、前記試験片の軸方向に圧縮荷重または引張荷重を付与する荷

重負荷機構とを備えることを特徴とするコーティング部材の耐久性試験装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はコーティング部材の耐久性試験方法および試験装置に係り、室温および高温における靱性・強度、熱衝撃における強度・耐久性、高温腐食雰囲気下における耐食性および高温断熱性等の向上を目的に使用されるコーティング部材の耐久性について、特にコーティング部材の試験条件を実機使用条件に十分に模擬することができるため、コーティング部材のより詳細な損傷メカニズムの解明とより高精度の寿命評価とを可能にしたコーティング部材の試験方法および試験装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】化石燃料の燃焼に伴う炭酸ガスの放出による地球温暖化を防止する観点や省資源による経済性の向上という観点から、発電用ガスタービンやガスタービンエンジンなどの原動機においては熱効率のさらなる向上が求められており、精力的な研究開発が進められている。例えばガスタービン発電設備においては、運転温度を高めて燃焼機出口ガス温度が高いほど発電効率が向上することが公知である。したがって高効率化を達成するためには、エネルギーロスを低減させるとともに、高温の燃焼ガスにさらされるガスタービンの動翼、静翼または燃焼器などの高熱機器を構成する耐熱構造部材に作用する高温度を緩和したり、高温運転に耐えるように部材自体の耐用温度（耐熱温度）を高めたりする方向で研究開発が進められている。

【0003】上記耐熱構造部材の耐久性（信頼性）を向上させるために、まず構造部材自体の耐熱性を向上させる研究が実施されてきた。例えば、既に高温部品用構造材料としてNi基合金、Co基合金またはFe基合金等から成る耐熱超合金の研究開発が進んでおり、実用化されているものも多い。

【0004】しかしながら、上記従来の超合金のみから成る耐熱構造部材では、融点が十分に高いものが得られず、高温領域において部材組織の軟化や再結晶による強度低下が発生し易いことから、1000℃以上の高温領域では使用できないという制約があった。

【0005】そこで、上記制約の解消策として、遮熱コーティング（TBC：Thermal Barrier Coating）を用いた技術が開発され、一部で実用化されている。例えば、特公平1-18993号公報および特公平1-18994号公報には、耐熱合金である超合金製基材表面に金属接合層およびアルミナ（ Al_2O_3 ）層を介して熱伝導率が低いセラミックス被覆層を遮熱コーティング層として形成した耐熱部材が開示されている。

【0006】上記耐熱部材の遮熱コーティング層は、熱伝導率が低い酸化物系セラミックス層を金属基材表面に

形成することにより、熱を遮断し金属基材の温度上昇を防止し、タービン部材として使用した場合に高温条件での使用を可能にする機能を有する。そして上記遮熱コーティング層を形成した耐熱部材では、遮熱コーティング層を施さない耐熱部材と比較して、耐熱合金基材の実質的な温度上昇を50℃～100℃程度の範囲で抑制できる。

【0007】従来から、上記遮熱コーティング層（皮膜）の耐久性の指標となる密着性や接合強度を評価する手法として、引張治具を接着剤で皮膜に接着して引張荷重を加える密着力試験が一般に広く使用されている。すなわち、皮膜表面に接着剤を介して引張治具を固定し、皮膜に対して垂直方向の荷重を加えて引張試験を行い皮膜損傷剥離時の荷重を測定して皮膜の密着性や接合強度を評価する方法である。

【0008】その他、密着力と皮膜強度試験法とともに、引抜き密着力試験法、せん断密着力試験法、引剥がし試験法等を実施して多面的に皮膜の耐久性を評価する方法も提案されている。一方、皮膜の密着力と同時に皮膜自体の強さを評価する手法として曲げ試験法およびカップ試験法が標準試験法として規格化されている。この試験手法は特に米国等において遮熱コーティング層の密着性評価試験方法として広く採用されている。いずれも、金属基材表面に溶射法によって皮膜を形成施工した耐熱部材の耐久性評価用に使用されている試験方法である。

【0009】一方、ガスタービン部品に適用される遮熱コーティング層を有する耐熱部材については、より実機運転条件に近い状態での評価法であるとして、燃焼試験により評価試験が実施されている。これは燃料中に含まれる腐食成分を試験雰囲気中に添加するなど、燃焼条件や腐食環境条件を実機運転条件に近似させ、コーティング層を施したガスタービン材料の耐久性確認試験を行うことを目的に実施されている試験方法である。

【0010】上記確認試験において基本となる加熱方式はバーナー加熱方式である。すなわち燃焼ガスによる高温腐食環境を模擬した試験方法であり、バーナーによる定常加熱試験と、加熱・冷却を繰返す熱サイクル試験とが実施されている。また、燃焼ガス中にSO₂を混入した腐食試験、あるいは食塩水の代わりにNaやVを添加した腐食試験など、腐食環境についても対象機の目的に応じて各種の試験が実施されている。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】より遮熱性能が高い遮熱コーティング部材の開発に際しても、上記の各種の燃焼試験がコーティング部材の耐久性評価のために一般的な採用されている。しかしながら、上記遮熱コーティング層を形成した耐熱部材は、実際にはコーティング層の厚さ方向に温度勾配が形成されるような不均一な温度分布雰囲気下で使用されるため、バーナーによって耐熱部

材全体を均一に加熱した試験状態は、必ずしも実際の使用状況を反映しておらず温度条件が一致していない。そのため、バーナー加熱方式による従来の耐久性試験方法では、耐熱部材の耐久性を高精度で測定することが困難であるという問題点があった。

【0012】特に温度勾配が形成されないような均一な温度分布下においては、遮熱コーティング層内に熱応力も形成されず、実際の運転条件より緩和された試験条件となる。さらに、耐熱部材は実機の構成材と一体に組み立てられた状態で試験に供されることはなく、微小な試験片として耐久性試験に供せられる。そのため、耐熱部材と他の構成材との実際の結合関係から生じる引張応力や圧縮応力も発生せず、実機運転条件から乖離した試験条件で耐久性を評価せざるを得ないため、耐熱部材の耐久性の測定精度が低下しやすいという問題点があった。

【0013】さらに、従来の燃焼試験がガスタービンの実機運転条件に近い試験条件でコーティング部材の確認試験を行うことを主目的としていたのに対し、最近ではコーティング部材の損傷メカニズムの解明に基づく高機能コーティング材料の開発を主目的として燃焼試験が行われるようになってきおり、より実機運転条件に近い試験条件を設定して、さらに高い精度で耐久性を評価する方法の開発が望まれている。

【0014】本発明は、上記従来の問題点を解決するためになされたものであり、特にコーティング部材の試験条件を実機使用条件に十分に模擬することが可能であり、コーティング部材のより詳細な損傷メカニズムの解明とより高精度な寿命評価とを可能にするコーティング部材の試験方法および試験装置を提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明者らは遮熱コーティング層の剥離寿命およびその測定精度に影響を与える数多くの因子を究明し、各因子による影響の大小を比較検討した。遮熱コーティングを主な対象として、損傷メカニズムを明確にし高精度で詳細な寿命評価を可能とするためには、実機での使用環境をどの程度十分に模擬できているかが重要な要件となることが判明し、その環境条件も比較検討した。

【0016】その結果、特にコーティング部材の実機運転時の温度条件によって形成される温度勾配を模擬した温度勾配を試験片断面の半径方向に形成した時に、コーティング層の耐久特性を高精度に測定できる一方、中空筒状の試験片を形成し試験片の外側を加熱する一方、中空部に冷却媒体を流通せしめて内側を冷却することにより、上記温度勾配を安定した状態で容易に形成でき、コーティング部材のより詳細な損傷メカニズムの解明とより高精度な寿命評価とが可能になるという知見が得られた。さらに、試験片への機械応力の重畳および長時間試験への対応が模擬できれば、さらに高精度の評価

が可能になることが判明した。本発明は上記知見に基づいて完成されたものである。

【0017】すなわち、本発明に係るコーティング部材の耐久性試験方法は、中空筒状の金属基材の表面にコーティング層を形成したコーティング部材である試験片の外面側を加熱する一方、中空部に冷却媒体を流通せしめて内面側を冷却することにより、コーティング部材の実機運転時の温度条件によって形成される温度勾配を模擬した温度勾配を試験片断面の半径方向に形成し、この状態でコーティング層の特性を計測することを特徴とする。

【0018】金属基材は、特に限定されるものではないが、一般にガスタービン翼や燃焼器の構成材として使用される1~4%Ti-1~5%Al-Ni合金、15%Cr-6~7%Fe-2.5%Ti-1%Nb-Ni基合金（例えば、商品名：INCONEL-738）等の超合金やステンレス鋼などの耐熱合金が広く適用できる。

【0019】またコーティング層として、金属基材より熱伝導率が低い酸化物系セラミックス層を金属基材表面に形成することにより、熱を遮断し金属基材の温度上昇を防止し、タービン部材として使用した場合に高温条件での使用が可能となる。そして上記コーティング層を形成した耐熱部材では、コーティング層を施さない耐熱部材と比較して、耐熱合金基材の実質的な温度上昇を50℃~100℃程度の範囲で抑制できる。

【0020】そして金属基材表面にコーティング層を形成した中空筒状試験片を用い、その試験片の外面側を加熱する一方、内面側を冷却することにより、試験片断面の半径方向に温度勾配が形成され、実機運転状態に近い熱環境が試験片に付与されるため、コーティング層の耐久特性を高精度に測定することができる。

【0021】上記中空筒状試験片の断面形状については特に限定されるものではない。しかしながら、コーティング層の損傷に対する部品形状の影響も大きいので、試験片の断面形状としては、実際に使用される部品形状を模擬した形状が好ましい。なお、試験片の断面形状が円形である場合には熱応力解析や強度解析等が容易になる利点があるが、円形以外の断面形状を有する試験片でも良い。

【0022】また上記コーティング部材の耐久性試験方法において、前記試験片の外表面に耐食コーティング層、遮熱コーティング層および耐摩耗コーティング層の少なくとも1種を形成する一方、内表面には耐食コーティング層を形成することも可能である。

【0023】上記のように金属基材に形成するコーティング層として、外表面に耐食コーティング層、遮熱コーティング層、耐摩耗コーティング層のいずれか1種類以上を形成する一方、内表面に耐食コーティング層を形成するという組み合わせで試験片を形成した場合には、高

温度の外表面および低温の内表面にそれぞれ形成した、温度条件が異なる複数のコーティング層を同時に評価することが可能となる。また内表面に形成したコーティング層により、試験片の内面側を効果的に保護することも可能である。

【0024】さらに上記コーティング部材の耐久性試験方法において、前記試験片の軸方向に圧縮荷重または引張荷重を付与し、この荷重は機械式荷重負荷機構、油圧式荷重負荷機構および変位拘束機構の少なくとも1種により付与することが好ましい。

【0025】すなわちコーティング部材の実際の使用環境では、熱的な負荷条件のみでなく機械応力も重畳して負荷される場合が多い。例えばガスタービンでは、動翼にかかる遠心応力や、静翼等の静止部品が拘束されて熱伸び等が生じることによる熱応力がある。これらの機械応力を試験条件に模擬することにより、実機運転状態に近い応力環境が試験片に付与されるため、コーティング層の耐久特性をより高精度に測定することができる。

【0026】上記機械応力を試験片の長さ方向（軸方向）に圧縮荷重および／または引張荷重として付与する機構として、例えばねじの押圧力を利用した機械式荷重負荷機構、油圧シリンダーの駆動力を利用した油圧式荷重負荷機構および／または試験片の長さを一定値に拘束する変位拘束機構を用いることができる。特に変位拘束機構を用いることにより、静翼等の拘束部に使用されるコーティング部材の試験条件を実機運転条件に近似させることができる。

【0027】また上記コーティング部材の耐久性試験方法において、前記加熱方法が誘導加熱法、電気ヒーター加熱法、ランプ集光加熱法、レーザー加熱法、バーナー燃焼加熱法、プラズマ加熱法のいずれか1種または2種以上の組み合わせであることが好ましい。

【0028】上記加熱方式のいずれかまたはその組み合わせによれば、実機運転条件に近似した温度勾配（熱勾配）が試験片の厚さ方向に容易に形成できる入熱量が確保でき、効果的な加熱方法となり望ましい。

【0029】一方、上記コーティング部材の耐久性試験方法において、前記冷却用の冷却媒体として常圧または加圧した空気、水蒸気、水および液体ナトリウムのいずれかを使用することが好ましい。

【0030】つまり冷却方式としては、前記加熱方式における入熱量と呼応して、実機運転条件に近似した熱勾配が形成できる除熱量が十分に確保できる冷却方法であることが望ましい。特に熱容量が大きく冷却性能が高い冷却媒体を使用した冷却方式が好ましいが、冷却システムの構築が容易である点および安全性の観点から、空気、水蒸気または水を冷却媒体として使用した冷却方式が特に好ましい。

【0031】また上記コーティング部材の耐久性試験方法において、前記試験片の外周表面に冷却ガスを吹き付

けることによって冷熱衝撃を付与することにより、実機運転時と同様な局所的な冷却状態あるいは瞬時的な冷却状況を試験片に模擬することができる。したがって、より実機運転状態に近い熱衝撃環境が試験片に付与されるため、コーティング層の耐久特性をより高精度に測定することができる。

【0032】さらに上記コーティング部材の耐久性試験方法において、試験時に試験片外周の雰囲気、コーティング部材の実機運転時の雰囲気条件に模擬するように制御することが好ましい。

【0033】つまり、試験片外周の雰囲気が酸化性物質や腐食性薬品を含有するように調整制御することにより、試験片の酸化や腐食による劣化メカニズムおよび損傷メカニズムを容易に解明することも可能になる。

【0034】また上記コーティング部材の耐久性試験方法において、前記試験片に加熱負荷および応力負荷を繰り返し付与することにより、コーティング部材を適用した実機の稼働・停止の繰り返しの影響を容易に測定できる試験方法となる。

【0035】さらに上記コーティング部材の耐久性試験方法において、前記試験片の伸びまたは縮みを、試験片に形成した標点（基準標識）を光学的な方法で非接触に計測することが好ましい。特にレーザー光を用いた側長器を使用することにより、高温の試験片表面に形成した標点位置を高精度に測定することができる。つまり、コーティング部材の損傷メカニズムを明確に把握するためには、上記のように、試験片の伸び（あるいは縮み）を正確に測定することが前提であり、そのため試験片に形成した標点を光学的な方法で非接触で、かつ高精度で計測する必要がある。

【0036】本発明に係るコーティング部材の耐久性試験装置は、中空筒状の金属基材の表面にコーティング層を形成したコーティング部材の試験片の外側面を加熱する加熱装置と、中空筒状の金属基材の中空部に冷却媒体を流通せしめて内側面を冷却する冷却装置と、前記試験片の軸方向に圧縮荷重または引張荷重を付与する荷重負荷機構とを備えることを特徴とするものであり、上記加熱装置としてガスバーナーを用いた場合には、ガス吹き出し口を前記試験片の中央からオフセットされた位置に配置することが好ましい。

【0037】また上記コーティング部材の耐久性試験装置において、測定した試験片の伸びまたは縮みを制御回路にフィードバックし、試験片に負荷する荷重および／または試験片の変位の制御を実施するように構成することが好ましい。

【0038】さらに上記コーティング部材の耐久性試験装置において、試験片の温度を熱電対および／または放射温度計で計測することが好ましい。

【0039】また上記コーティング部材の耐久性試験装置において、測定した試験片の温度を制御回路にフィード

バックし、試験片に負荷する荷重、試験片の変位または試験片の温度の制御を実施することが好ましい。

【0040】さらに上記コーティング部材の耐久性試験装置において、試験部をより均一に加熱して解析が容易な評価を実現するために、加熱装置の加熱源をガスバーナーで構成することが好ましい。特に試験片の形状が、筒状である場合には、ガスバーナーの吹き出し口が試験片の周囲を囲むように3ヶ所以上配置されていることが好ましい。

10 【0041】上記耐久性試験装置において、加熱装置によって試験片の外側面から投入される入熱量と、冷却装置によって試験片の内側面から除去される冷却熱量とが均衡して定常状態になると、試験片断面の厚さ方向に一定の温度勾配が形成され、この温度勾配は実機運転時に形成される温度勾配に近似する。したがって試験片に対して実機運転状態に近い熱環境が付与されるため、コーティング層の耐久特性を高精度に測定することができる。

20 【0042】また上記加熱装置がガスバーナーで構成され、このガスバーナーのガス吹き出し口が前記試験片の中央からオフセットされた位置に配置されているため、試験片についての光学的な伸び計測作業を邪魔することが無く好適である。すなわち、ガスバーナーは試験片の評価対象部の軸方向の中心位置から外れた位置に配置され、ガスバーナーの複数のガス吹き出し口が評価対象部方向に向かうように延設されているため、評価対象部に形成された標点を垂直方向から観察してもガスバーナーが観察視野を遮ることがない。そのため、試験片の伸び計測作業を高い精度で実施することができる。

30 【0043】また上記試験片の伸び計測作業で使用し伸びを光学的に検出するための基準標識となる標点として、試験片外周部の評価対象有効部に凸または凹状に段差を形成しても良い。

40 【0044】本発明に係るコーティング部材の耐久性試験方法および試験装置によれば、コーティング部材の実機運転時の温度条件によって形成される温度勾配を模擬した温度勾配を試験片断面の半径方向に形成できるため、実機運転時に近似した温度環境条件下でコーティング層の耐久特性を高精度に測定できる一方、中空筒状の試験片を形成し試験片の外側面を加熱する一方、中空部に冷却媒体を流通せしめて内側面を冷却することにより、上記温度勾配を安定した状態で容易に形成でき、コーティング部材のより詳細な損傷メカニズムの解明と、より高精度な寿命評価とが可能になる。

【0045】

【発明の実施の形態】次に、本発明に係るコーティング部材の耐久性試験方法および耐久性試験装置の一実施例について従来例を示す比較例と共に具体的に説明する。

【0046】

50 【実施例】図1は本発明に係るコーティング部材の耐久

性試験方法を実施するために使用される耐久性試験装置の一実施例の構成を示す系統図である。また図2は被試験対象としての試験片と、その周辺設備を示す断面図である。さらに、図3は図2に示す加熱装置の構成を示す平面図である。

【0047】すなわち本実施例に係るコーティング部材の耐久性試験装置1は、耐熱合金（商品名：INCONEL-738）から成り中空筒状の金属基材2の表面に酸化物セラミックスから成るコーティング層3を溶射法により形成したコーティング部材の試験片4の外側面を加熱する加熱装置5と、中空筒状の金属基材2の中空部に冷却媒体を流通せしめて内側面を冷却する冷却装置7と、前記試験片4の軸方向に圧縮荷重または引張荷重を付与する荷重負荷機構8とを備え、上記加熱装置5がガスバーナー9であり、このガスバーナー9のガス吹き出し口9aが前記試験片4の中央からオフセットされた位置に配置されて構成されている。

【0048】また試験片4の形状については、曲率の大きな部位でコーティング層の剥離が生じやすくなることを考慮し、例えば動翼リーディングエッジ部の曲率（10mmφ程度）を模擬できるような形状とした。

【0049】上記ガスバーナー（リングバーナー）9は試験片4の評価対象部の軸方向の中心位置から下方に外れた位置に配置され、ガスバーナー9の内側周方向に等間隔で配設された12個のガス吹き出し口9aが評価対象部方向に向かうように延設されている。

【0050】試験片4の上下両端はそれぞれ荷重負荷機構8によって拘束されており、荷重モーターによって回転されるねじの押圧力によって試験片4の軸方向に圧縮荷重または引張荷重が付与される。このような荷重負荷機構8を付設することにより、熱的条件の他に機械応力を重畳させることができ、特に動翼のように遠心力が作用したり、静翼のように変形が拘束されるような場合に発生する機械応力条件を容易に模擬できる。

【0051】また試験片4の温度および伸びをそれぞれ測定するための放射温度計10および側長器11が、試験片4の評価対象部に指向するように配設される。冷却装置7は中空筒状の金属基材2の中空部に冷却媒体としての冷却エアを送給し、試験片4の中空部6の入口および出口における冷却エアの温度を測定するための熱電対12、13が配置されている。さらに加熱装置5としてのリングバーナー9に、燃料ガス（CH₄）と助燃剤としての酸素（O₂）との混合気を供給する燃料供給装置14が付設されている。

【0052】さらに、側長器11により測定された試験片の伸びまたは縮みのデータ、放射温度計10によって測定された試験片4の温度データ、熱電対12、13によって計測された冷却エアの温度データは、制御回路15としてのシステムコントローラーにフィードバックされ、制御回路15はこれらのデータに基づいて試験片4

に負荷される荷重や試験片4の変位または試験片の温度の制御を実行するように構成される。

【0053】本発明者らがコーティング部材の損傷メカニズムを詳細に解明した結果、遮熱コーティング層の剥離寿命の予測評価を実施する場合に影響を与えると判明した要因を図4にまとめて示す。ここで特に影響が大きいと考えられる要因については、枠で囲って一次主要因子と規定する一方、影響が相対的に小さい判明した要因については、枠無しで表示した二次主要因子として区別して表示した。

【0054】図4に示す結果から明らかなように、剥離寿命の予測評価に影響を与える因子は、コーティング層に形成される温度勾配であり、次いで試験片の形状、試験片に作用する機械負荷応力、試験片の保持時間であると判明している。したがって、コーティング部材の実機運転時の温度条件によって形成される温度勾配に近似した温度勾配を試験片断面の半径方向に形成することにより、実機運転時に相当する温度環境条件下でコーティング層の耐久特性を高精度に測定できることになる。

【0055】しかるに本実施例に係るコーティング部材の耐久性試験装置1において、加熱装置5によって試験片4の外側面から投入される入熱量と、冷却装置7によって試験片4の中空部6の内側面から除去される冷却熱量とが均衡して定常状態になると、試験片4の断面の厚さ方向に一定の温度勾配が形成され、この温度勾配は実機運転時に形成される温度勾配に近似する。したがって試験片4に対して実機運転状態に近い熱環境が付与されるため、コーティング層3の耐久特性を高精度に測定することができる。

【0056】また上記加熱装置5がガスバーナー9で構成され、このガスバーナー9のガス吹き出し口9aが前記試験片4の中央からオフセットされた位置に配置されているため、試験片4についての光学的な側長器11を使用した伸び計測作業の障害となるおそれが全く無い。すなわち、ガスバーナー9は試験片4の評価対象部の軸方向の中心位置から外れた下方位置に配置され、ガスバーナー9の複数のガス吹き出し口9aが評価対象部方向に向かうように延設されているため、評価対象部に形成された標点を垂直方向から観察してもガスバーナー9が観察視野を遮ることがない。そのため、試験片4の伸び計測作業を高い精度で実施することができる。

【0057】

【比較例1】一方、比較例1として従来のレーザー加熱方式を採用した耐久性試験を実施した。すなわち、Nd:YAGレーザー（最大出力：800W、入熱密度：130MW/m²）を照射して遮熱コーティング試験体の表面を加熱する一方、試験体の裏面を空気冷却することにより遮熱コーティング層に定常的な温度勾配を形成した後に冷却する操作を繰り返す熱サイクル試験を実施した。

【0058】上記レーザー加熱方式では入熱コントロールが容易であり、かつ大気中で実施したため酸化現象も模擬できるなどの利点を有する反面、試験装置が非常に大掛かりになることから試験コストが膨大になる難点があるとともに、試験片の形状が平板に限定されるため、試験条件が実機運転条件から乖離し高い精度での評価が困難になる問題点があった。

【0059】

【比較例2】また比較例2として、より簡便な熱源であるランプによる集光加熱方式を採用した耐久性試験を実施した。すなわち、赤外線ランプ（入熱密度：0.33 MW/m²）の光線を集光照射して遮熱コーティング試験体の表面を加熱する一方、試験体の裏面を空気冷却または水冷却することによって試験体の厚さ方向に温度勾配を形成したのちに冷却する操作を繰り返す熱サイクル試験を実施した。この場合、温度勾配を形成するための比較的大きな入熱量の確保が困難であり、また試験片の形状がやはり平板に限定されるため、試験条件が実機運転条件から乖離し高い精度での評価が困難になる問題点があった。

【0060】

【比較例3】さらに近年になって開発された熱機械疲労試験機を用いて耐久性試験を実施した。すなわち、内部を空気冷却した遮熱コーティング試験体の表面を加熱す*

主要因子に関する評価性能の比較

試験方法	炉加熱方式	従来のバーナー加熱方式	ランプ集光加熱方式	レーザー/プラズマ加熱方式	本実施例方式
試験片形状 (実機模擬)	○	×	○	×	○
機械応力の重畳	○	×	○	×	○
定常状態温度勾配	×	○	△	○	○
長時間試験の対応	○	○	×	×	○

【0064】上記表1に示すように、炉加熱方式による従来の試験方法によれば、試験片全体が加熱されるため、コーティング層に温度勾配を形成することは不可能であり、実機運転条件から乖離し、高精度の評価は不可能である。また荷重負荷機構を具備しない従来のバーナー加熱方式による試験方法では、機械応力の重畳の模擬が困難であり、試験片の形状により評価結果が大きくばらつく難点がある。一方、ランプ集光加熱方式による従来の試験方法では、入熱量に限度がありコーティング層に温度勾配を形成することにやや難があり、長時間にわたる試験は困難である。また、レーザー/プラズマ加熱方式による従来の試験方法では、定常状態に温度勾配を※50

* するためにSiCヒーターを使用し、加熱炉の開閉によって熱サイクルを付与すると共に、実機運転時に相当する機械的負荷を試験体の軸方向に与えて耐久性試験を実施した。

【0061】上記耐久性試験では、加熱炉の開閉によって熱サイクルを付与する方式であるために、加熱-冷却サイクルに時間を要する難点がある反面、熱サイクルとは別個に独立して加重パターンを任意に決定することが可能である。すなわち、最高加熱温度到達時に最大圧縮応力を同期させるパターン（Out-of-Phase）と、最低加熱温度到達時に最大圧縮応力を同期させるパターン（In-Phase）が、遮熱コーティング（TBC：Thermal Barrier Coating）の剥離損傷に及ぼす影響について究明するために、特殊な局面を模擬した形状での耐久性試験が可能である。しかしながら、入熱量が比較的強く限定される難点があり、実機運転条件が得にくい問題点があった。

【0062】上述した実施例に係るコーティング部材の耐久性試験装置を含め、最近までの従来の代表的な加熱試験装置を使用した場合において、コーティング層の剥離寿命予測に影響を及ぼす主要因子についての評価性能の優劣をまとめたものを下記表1に示す。

【0063】

【表1】

※付与することは容易だが、試験片の形状に影響を受けやすく、機械応力の重畳の模擬および長時間にわたる試験継続に難点がある。このように、従来の試験方法では、いずれも実機使用条件を十分に模擬することができないため、詳細な損傷メカニズムの解明と寿命評価に限界があった。

【0065】これに対して、本実施例に係るバーナー加熱方式と荷重負荷装置と中空筒状の試験片とを組み合わせた耐久性試験装置では下記のような理由で格別の効果を奏する。すなわち、遮熱コーティング皮膜内で実機運転時と同レベルの温度勾配を再現するためには、比較的大きな熱流束を与えられる高密度熱源が不可欠であり、

13

試験片の裏面となる中空部での強い冷却手段と組み合わせる必要があるが、本実施例で使用する加熱バーナーと中空筒状の試験片とを組み合わせた構成によれば、上記温度勾配を容易に再現することができる。

【0066】さらに、遮熱コーティング層の損傷メカニズムを解明するためには、少なくとも数100時間以上の連続運転により、劣化挙動を追跡評価する必要があると考えられる。しかるに、本実施例の試験装置で使用した改良バーナー加熱方式によれば、試験片形状、機械応力の重畳、定常温度勾配の付与および長時間試験への対応が可能となる意味で高温動的腐食試験装置としての機能もはたし、前記の各比較例として説明した試験評価方法と比較して、実機運転条件をより忠実に模擬した耐久性試験が可能になる。

【0067】

【発明の効果】以上説明のとおり、本発明に係るコーティング部材の耐久性試験方法および試験装置によれば、コーティング部材の実機運転時の温度条件によって形成される温度勾配を模擬した温度勾配を試験片断面の半径方向に形成できるため、実機運転時に近似した温度環境条件下でコーティング層の耐久特性を高精度に測定できる一方、中空筒状の試験片を形成し試験片の外側を加熱する一方、中空部に冷却媒体を流通せしめて内面側を

14

冷却することにより、上記温度勾配を安定した状態で容易に形成でき、コーティング部材のより詳細な損傷メカニズムの解明と、より高精度な寿命評価とが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るコーティング部材の耐久性試験方法を実施するために使用される耐久性試験装置の一実施例の構成を示す系統図。

【図2】被試験対象としての試験片と、その周辺設備を示す断面図。

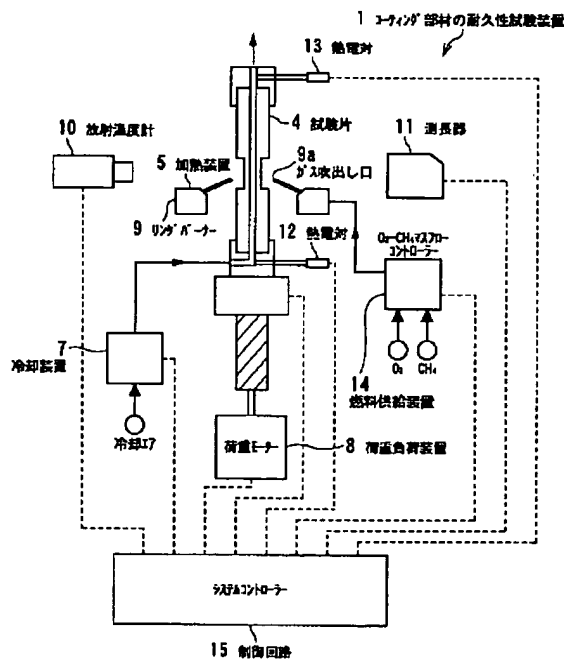
【図3】加熱装置の構成例を示し、図2におけるIII-III矢視平面図。

【図4】遮熱コーティング層の剥離寿命に影響を与える因子を列記した特性要因図。

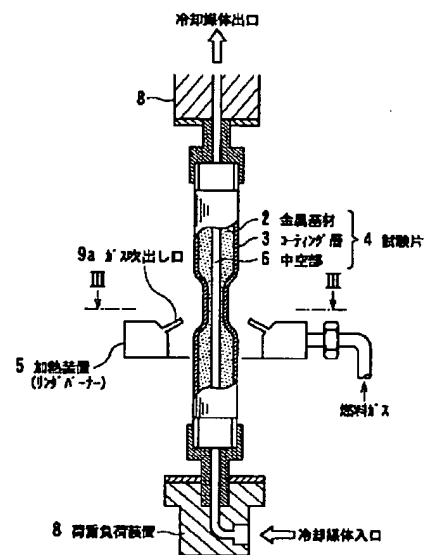
【符号の説明】

1…コーティング部材の耐久性試験装置、2…金属材料、3…コーティング層、4…試験片（コーティング部材）、5…加熱装置、6…中空部、7…冷却装置、8…荷重負荷装置、9…リングバーナー、9a…ガス吹き出し口、10…放射温度計、11…側長器、12…熱電対、13…熱電対、14…燃料供給装置、15…制御回路（システムコントローラー）。

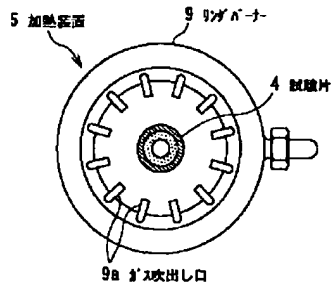
【図1】



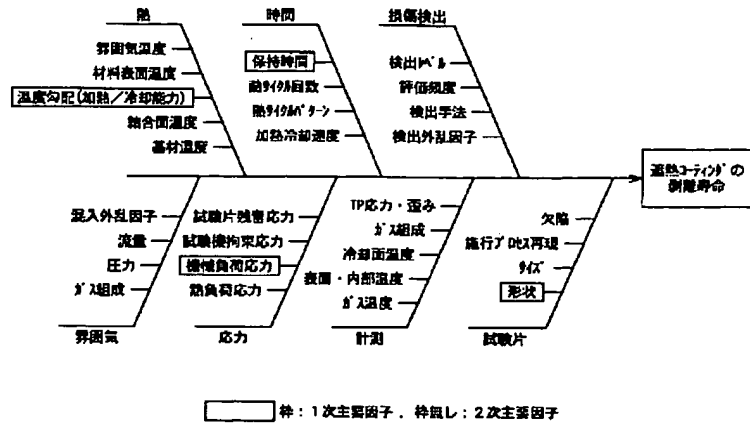
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 日野 武久
 神奈川県横浜市鶴見区末広町二丁目4番地
 株式会社東芝京浜事業所内
 (72)発明者 伊藤 義康
 神奈川県横浜市鶴見区末広町二丁目4番地
 株式会社東芝京浜事業所内

Fターム(参考) 2G050 AA01 BA02 BA10 BA11 BA12
 CA06 DA01 DA02 EA01 EA04
 EA10
 2G061 AA01 AA13 AC03 AC04 BA15
 CA02 CA03 CA04 CA16 CB13